

普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材

计算机 测控技术与系统

于微波 刘俊平 姜长泓 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材

计算机测控技术与系统

于微波 刘俊平 姜长泓 主编
何伟明 杨 帅 洪 霞 参编



机械工业出版社

本书较系统地介绍了计算机测控系统的理论基础和设计方法。全书共分8章：第1章介绍了测控系统的基本概念，计算机测控系统的分类、组成以及发展趋势；第2章介绍了计算机测控系统的硬件技术，包括测控系统主机的选择，输入通道、输出通道的设计；第3章介绍了计算机测控系统中常用的数字PID控制算法、Smith纯滞后预估控制算法和大林算法；第4章介绍了计算机测控系统中的误差校正、量程切换、标度变换、非线性校正以及数字滤波等数据处理的方法；第5章介绍了计算机测控系统的软件设计方法，包括测控系统应用软件设计的步骤、常用编程语言和软件开发工具；第6章介绍了计算机测控系统中的硬件抗干扰技术和软件抗干扰技术；第7章介绍了计算机测控系统中常用的串行通信总线和现场总线技术；第8章以电烤箱温度测控系统设计为实例，介绍了计算机测控系统设计与实现的步骤和方法。

本书从工程技术的角度出发，突出基本理论、基本概念和基本方法，注重理论与应用相结合、设计与实现相结合，强调设计过程的系统性和实用性。本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电子信息、机电一体化等专业教材，也可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机测控技术与系统/于微波, 刘俊平, 姜长泓主编.
—北京: 机械工业出版社, 2015.8
普通高等教育测控技术与仪器专业规划教材
ISBN 978-7-111-51409-1

I. ①计… II. ①于…②刘…③姜… III. ①计算机控制系统—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 202826 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 吉玲 责任编辑: 吉玲
版式设计: 赵颖喆 责任校对: 程俊巧
封面设计: 张静 责任印制: 乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·15.75 印张·385 千字
标准书号: ISBN 978-7-111-51409-1
定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
电话服务

服务咨询热线: 010-88379833
读者购书热线: 010-88379469

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com
机工官博: weibo.com/cmp1952
教育服务网: www.cmpedu.com
金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言

随着微电子技术、计算机技术和通信技术的飞速发展,计算机在过程自动化、工厂自动化、计算机综合生产系统等自动化领域中得到了越来越广泛的应用,例如用它来实现对生产过程的自动监控、产品质量的自动检验、能源自动检测与管理等。这类技术的采用,对于提高产品的产量与质量、降低成本、确保生产安全、改善工作条件、减轻劳动强度、节省能源和材料、实现生产过程的优化控制及科学管理等都具有重要的作用。

2012年,教育部对1998年印发的普通高等学校本科专业目录和1999年印发的专业设置规定进行了修订,形成了《普通高等学校本科专业目录》(以下简称新目录)。新目录明确指出,测控技术与仪器专业的核心知识领域包括测量理论与测试技术、计算机技术、控制理论与控制技术以及测控系统分析、设计与集成等。因此,“计算机测控系统”已经成为我国工科院校测控技术与仪器专业的一门重要核心课程。

在本书的编写过程中,编者结合多年从事测控领域教学与科研工作的体会,紧扣测控技术的热点问题,跟踪测控技术的发展前沿,以测控系统构成为主线,从测控系统设计方法到测控系统控制算法,并结合工程实例,进行了深入浅出的讨论。在内容上,更注重反映有实用价值的测控系统核心技术,力求培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本书共分为8章。第1章为计算机测控系统概述,介绍了测控系统的基本概念,计算机测控系统的分类、组成以及发展趋势;第2章介绍了计算机测控系统的硬件技术,包括测控系统主机的选择依据,输入通道、输出通道的设计方法,并对目前常用的各种过程通道模板进行了简介;第3章介绍了计算机测控系统中的控制算法,包括工程上应用最多的数字PID控制算法以及针对纯滞后对象的Smith预估控制算法和大林算法;第4章介绍了计算机测控系统的数据处理方法,包括测控系统中的误差校正、量程切换、标度变换、非线性校正以及数字滤波等方法;第5章介绍了计算机测控系统的软件技术,包括测控系统应用软件设计的步骤与方法,测控系统中常用编程语言和软件开发工具,并简单介绍了目前测控系统中常用的工业组态软件和虚拟仪器软件;第6章为计算机测控系统的抗干扰技术,在对干扰信号分析的基础上,介绍了硬件抗干扰技术和软件抗干扰技术;第7章是计算机测控系统的总线技术简介,从总线技术的产生、定义和分类出发,针对目前测控系统中常用的串行通信总线和现场总线技术进行了介绍;第8章以电烤箱温度测控系统设计为实例,总结了计算机测控系统设计与实现的步骤和方法。全书计划为48学时,可以根据课程学时及先行课程的开设情况进行内容的取舍。

本书从工程技术的角度出发,突出基本理论、基本概念和基本方法,注重理论与应用相结合、设计与实现相结合,强调设计过程的系统性和实用性。本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电子信息、机电一体化等专业教材,也可供相关的工程技术人员参考。

本书由于微波、刘俊平、姜长泓等共同编写，其中，于微波编写了第2章、第5章和第7章，刘俊平编写了第3章，姜长泓编写了前言和第1章，何伟明编写了第4章，洪霞编写了第6章，杨帅编写了第8章，李红军、何佳欢和何佳乐参加了本书的绘图和校对工作。全书由于微波负责统稿、定稿。在本书的编写过程中，我们参考了大量文献，在此，谨向书后所列参考文献的各位作者表示诚挚的感谢。

限于作者的水平和经验，书中难免有一些缺点和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言	
第1章 计算机测控系统概述	1
1.1 测控系统的基本概念	1
1.1.1 现代测量技术	1
1.1.2 现代控制技术	2
1.1.3 现代测控技术	3
1.1.4 测控系统微机化的重要意义	4
1.2 计算机测控系统的分类	5
1.2.1 数据采集系统	5
1.2.2 直接数字控制系统	6
1.2.3 监督控制系统	7
1.2.4 分布式控制系统	7
1.2.5 现场总线控制系统	9
1.3 计算机测控系统的组成	10
1.3.1 计算机测控系统的典型结构	10
1.3.2 计算机测控系统的硬件组成	11
1.3.3 计算机测控系统的软件组成	13
1.4 计算机测控系统的发展趋势	14
习题与思考题	15
第2章 计算机测控系统的硬件技术	16
2.1 测控系统的主机	16
2.1.1 嵌入式处理器	16
2.1.2 工业控制计算机	17
2.1.3 可程序控制器	20
2.1.4 可编程自动化控制器	23
2.2 测控系统的输入通道	26
2.2.1 输入通道概述	27
2.2.2 模拟量输入通道	28
2.2.3 开关量输入通道	42
2.2.4 模拟量输入通道设计举例	45
2.3 测控系统的输出通道	46
2.3.1 输出通道概述	47
2.3.2 模拟量输出通道	47
2.3.3 开关量输出通道	57
2.3.4 开关量输出通道设计举例	61
2.4 测控系统的过程通道接口模板	65
2.4.1 板卡式过程通道	66
2.4.2 模块式过程通道	71
习题与思考题	73
第3章 计算机测控系统的控制技术	74
3.1 模拟控制器的数字化实现	74
3.1.1 模拟控制器的数字化处理	74
3.1.2 模拟控制器的离散化方法	78
3.2 数字PID控制器的设计	81
3.2.1 模拟PID控制规律的离散化	82
3.2.2 数字PID控制算法的改进	87
3.2.3 数字PID控制器参数的整定	90
3.2.4 设计举例	93
3.3 纯滞后测控系统的设计	99
3.3.1 Smith预估控制	99
3.3.2 大林算法	103
3.3.3 设计举例	109
习题与思考题	112
第4章 计算机测控系统的数据处理	115
4.1 误差校正与量程切换	115
4.1.1 软件校正方法	116
4.1.2 量程自动切换	117
4.2 标度变换	121
4.2.1 线性参数的标度变换	122
4.2.2 非线性参数的标度变换	122

4.3 非线性校正方法	123
4.3.1 查表法	123
4.3.2 插值法	124
4.3.3 拟合法	126
4.4 数字滤波	127
4.4.1 平均滤波	128
4.4.2 中值滤波	129
4.4.3 程序判断滤波	130
4.4.4 低通滤波	131
4.4.5 复合滤波	133
习题与思考题	133

第5章 计算机测控系统的软件

技术	134
5.1 计算机测控系统的软件概述	134
5.1.1 测控系统软件的主要特性	134
5.1.2 应用程序设计的步骤与 方法	135
5.1.3 应用程序设计的编程语言	137
5.1.4 测控系统的软件开发工具	138
5.2 工业组态软件技术简介	140
5.2.1 组态软件的产生与现状	140
5.2.2 组态软件的组成	141
5.2.3 组态软件开发工程的一般 步骤	143
5.2.4 几种流行的工业组态软件	144
5.3 虚拟仪器技术简介	146
5.3.1 虚拟仪器技术的优势	146
5.3.2 虚拟仪器系统的构成	147
5.3.3 虚拟仪器系统的组建方案	149
5.3.4 虚拟仪器的分类	150
5.4 测控系统软件的相关技术	151
5.4.1 面向对象技术	151
5.4.2 测控系统中的数据交换 技术	152
5.4.3 数据库技术	155
习题与思考题	156

第6章 计算机测控系统的抗干扰

技术	157
6.1 噪声干扰的形成	157
6.1.1 干扰的来源	157
6.1.2 干扰的耦合方式	158

6.1.3 干扰的表现形式	159
6.2 硬件抗干扰技术	160
6.2.1 通道抗干扰技术	161
6.2.2 长线传输抗干扰技术	163
6.2.3 接地技术	165
6.2.4 供电系统抗干扰技术	167
6.3 软件抗干扰技术	171
6.3.1 软件冗余技术	171
6.3.2 软件陷阱技术	173
6.3.3 “看门狗”技术	174
习题与思考题	174

第7章 计算机测控系统的总线

技术	175
7.1 总线技术概述	175
7.1.1 总线的产生	175
7.1.2 总线的定义及分类	175
7.2 系统总线	177
7.2.1 PCI 总线	177
7.2.2 PXI 总线	180
7.3 串行通信总线	182
7.3.1 串行通信的基本概念	183
7.3.2 串行通信的同步和异步 方式	184
7.3.3 串行通信的差错控制技术	187
7.3.4 常用串行通信标准总线	189
7.4 现场总线技术	194
7.4.1 现场总线概述	194
7.4.2 几种流行的现场总线	196
习题与思考题	200

第8章 计算机测控系统的设计与

实现	201
8.1 计算机测控系统的设计概述	201
8.1.1 计算机测控系统的设计 原则	201
8.1.2 计算机测控系统的设计 步骤	203
8.2 计算机测控系统的设计方法	205
8.2.1 测控系统总体方案设计	205
8.2.2 测控系统硬件设计	210
8.2.3 测控系统软件设计	213
8.2.4 测控系统抗干扰设计	216

8.3 计算机温度测控系统的设计	217	8.3.4 系统的硬件设计	221
8.3.1 设计任务	217	8.3.5 系统的软件设计	228
8.3.2 总体方案设计	218	8.3.6 系统调试与实验结果	238
8.3.3 系统的数学模型和控制 算法	220	习题与思考题	241
		参考文献	242

第1章 计算机测控系统概述

学习目标:

- 掌握测控系统的基本概念。
- 熟悉计算机测控系统的应用类型。
- 掌握计算机测控系统的基本组成。
- 了解计算机测控系统的发展趋势。

1.1 测控系统的基本概念

人类在生产生活工程实践的过程中有两种要求：一种要求是通过各种方法获得反映客观事物或对象的运动属性的各种数据，这个过程称为测量；另一种要求是能够对客观事物或对象的发展运动有一定的支配和约束，这个过程就是控制。测量和控制相结合，就形成了测控技术。

计算机测控技术是建立在电子、通信、计算机、测量及控制等多学科基础上的一门高新技术。它包括计算机自动测量技术和计算机自动控制技术两大部分，与多个信息科学技术紧密结合，是信息科学的重要分支。

1.1.1 现代测量技术

测量是采用各种方法获得反映客观事物或对象的运动属性的各种数据。可以说，仪器是认识世界的工具，机器是改造世界的工具，改造世界是以认识世界为前提的。因此，科学始于测量，没有测量就没有科学。

随着科学技术水平的不断提高和生产技术的高速发展，测量技术也随着向前发展。计算机及微电子等技术迅猛发展并逐步渗透到测量、测试和仪器仪表技术领域，使得测量技术与仪器仪表技术不断进步，出现了以计算机为核心的自动测量系统，测量仪器也从早期简单的模拟式、数字式仪表，发展到现在的智能化仪表、虚拟仪器等先进的微机化的仪器。

测量技术主要是对被测量的测量原理、测量方法、测量系统和数据处理等方面进行研究。

(1) 测量原理 测量原理是指采用什么原理和依据什么效应去测量被测量，不同性质的被测量用不同的原理去测量，同一性质的被测量也可以用不同的原理去测量。

(2) 测量方法 测量方法是指测量原理确定以后，用什么方法去测量被测量。常用的方法有直接测量法和间接测量法。

(3) 测量系统 在确定了测量原理和测量方法后，就需要设计测量系统。根据系统中被测量信号类型的不同，可以分为模拟式和数字式测量系统。

(4) 数据处理 数据处理是指对采集到的数据（包括数值的和非数值的）进行分析和加工的技术过程，包括对各种原始数据的分析、整理、计算、编辑等。

模拟式测量系统如图 1-1 所示。数字式测量系统如图 1-2 所示。

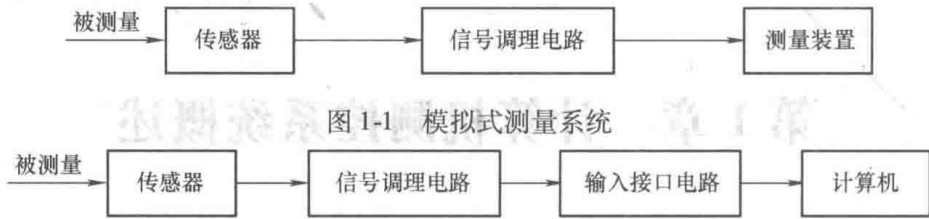


图 1-1 模拟式测量系统

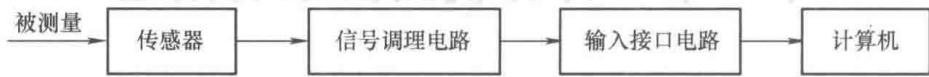


图 1-2 数字式测量系统

经典的测量方法是人工测量、目测读数、手动记录，对测试人员来讲，劳动强度比较大，目测读数的误差比较大，手工记录因人而异。所以经典的测量方法已逐渐被现代测量技术所取代。现代测量是指以电子技术为基本手段的一种测量技术，它是测量学和电子学相结合的产物。现代测量除具有运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外，还可通过各种敏感器件和传感器装置对非电量进行测量。因此电子测量不仅用于电学各专业，也广泛应用于物理学、化学、机械学、材料学、生物学、医学等科学领域以及生产、国防、交通、通信、生态环境保护等各个方面。随着计算机技术和微电子技术的迅猛发展，尤其是微型计算机与电子测量仪器相结合，构成了新一代仪器和测量系统，即“智能仪器”和“自动测量系统”，它们具有对电参数进行自动测量、自动量程选择、数据记录和处理、误差校正及在线测试等功能，不仅改变了传统测量概念，更对测量技术和其他科学技术产生了巨大推动作用。

测量仪器是测控系统的重要组成部分。无论仪器最终如何发展，测量仪器都可以概括为以下 3 个功能模块：信号采集（包括传感器电路、信号调理电路）、信号分析与处理、结果表达与输出。一个具体的仪器各部分或许有增有减，但总的架构都大致相同。

从现代测量仪器的组成来看，可以将其分为以下两大类。

- (1) 独立仪器 把信号采集、信号处理、结果输出等部分，通过硬件电路和软件组成一个整体放到独立的机箱内，机箱有操作面板、信号输入输出端口、通信接口等。测量结果由机箱面板的 LED 或 LCD 窗口显示，也可通过打印输出接口输出。
- (2) 虚拟仪器 虚拟仪器是通过在计算机上插上数据采集卡对数据进行测量，测量数据的分析和处理、结果的表达与输出放到计算机上来完成，也就是把信号的采集、信号处理、结果的表达与输出 3 个部分全都放到计算机上来完成。由软件在计算机屏幕上生成仪器控制面板，用软件对信号进行分析和处理，完成多种多样的测试。通过屏幕形象地以各种表达式形式或图形方式表达输出测量结果。虚拟仪器突破了传统仪器在数据采集、数据处理、数据存储和传送等方面的限制，达到了传统仪器无法比拟的效果。

近十几年来，以互联网为代表的网络技术的出现，开始将智能互联网产品带入现代生活，也为测量技术与仪器仪表技术带来了前所未有的发展空间和机遇，网络化测量技术与具备网络功能的新型仪器应运而生，从而带来新一轮的测量方式的变革。

1.1.2 现代控制技术

由经典控制系统可知，控制系统可以分为开环控制和闭环控制。开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程，按这种方式组成的系统称为开环控制系统，其特点是系统的输出量不会对系统的控制作用发生影响，不具备自动修正的能

力,如图1-3所示。闭环控制是将输出量直接或间接反馈到输入端形成闭环、参与控制的控制方式。由于干扰的存在,使得系统实际输出偏离期望输出,系统自身便利用负反馈产生的偏差所取得的控制作用再去消除偏差,使系统输出量恢复到期望值上,这正是反馈的工作原理,如图1-4所示。可见,闭环控制具有较强的抗干扰能力。

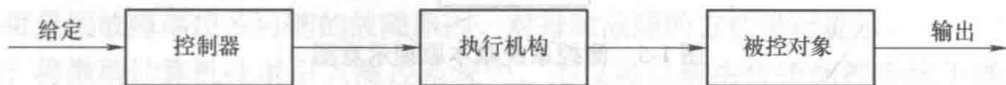


图 1-3 开环控制示意图



图 1-4 闭环控制示意图

目前,控制技术的实现方法主要有两大类:一类是经典控制技术;另一类是现代控制技术。

经典控制技术的研究对象是单输入、单输出的自动控制系统,特别是线性定常系统。它是以输入-输出特性(主要是传递函数)为系统数学模型,采用频率响应法和根轨迹法这些图解分析方法,分析系统性能和设计控制装置。经典控制技术在解决比较简单的控制系统的分析和设计问题方面是很有效的,至今仍不失其实用价值。经典控制技术最典型的实用化控制器就是PID(比例-积分-微分)控制器,至今已有70多年历史。其优点是实现简单、反应快速,有一定的鲁棒性。目前在工业控制应用领域占有垄断性地位。

现代控制技术对控制系统的分析和设计主要是通过对系统状态变量的描述来进行的,基本的方法是时间域方法。与经典控制技术相比,它所能处理的控制问题更广泛,包括线性系统和非线性系统、定常系统和时变系统、单变量系统和多变量系统。它所采用的方法和算法也更适合在数字计算机上进行。可以说,现代控制技术是以状态空间分析法为基础,以计算机应用为手段,实现系统的自动控制。

目前,现代控制技术已经向大系统理论和智能控制理论方向发展。一些复杂的工业过程,如反应过程、冶炼过程、生化过程等,本身机理十分复杂,而且这类过程往往还受到众多随机因素的干扰和影响,因此难以建立符合应用要求的数学模型,以满足最优控制的要求。解决这类问题的重要途径就是将人工智能、控制理论和运筹学三者结合形成智能控制。与此同时,在现代控制理论中,诸如非线性系统、分布参数系统、随机控制以及容错控制等也在理论上和实践中得到了发展。自动控制系统正在发生着巨大的变革,它已突破了局部控制的模式,进入到全局控制,即包含了若干子系统的闭环控制,又有大系统协调控制、最优控制以及决策管理,即人们称为控制管理一体化的新模式。

1.1.3 现代测控技术

将现代测量技术与现代控制技术相结合就形成了现代测控技术。可以说,现代测控技术就是以现代测量技术为基础,以现代控制为目的,以实现复杂系统的控制要求,其控制原理如图1-5所示。



图 1-5 测控系统基本原理示意图

一个测控系统一般具有以下功能：

- 1) 测量功能：通过传感器获取被测物理量的电信号或控制过程的状态信号，进行信号处理和越限报警等。
- 2) 执行机构的驱动功能：控制器产生的控制信号去驱动执行机构达到所需要的位置，并接收反馈测量信号，以便检查控制命令是否已被执行。
- 3) 控制功能：就是实现对系统的调节与控制，即实现所用控制规律的计算，并产生对应的控制量。常用的控制方案有直接数字控制、顺序控制和监督控制。
- 4) 人机交互功能：控制系统要为操作员提供关于被控对象和控制系统本身运行的全部信息。
- 5) 通信功能：实现各控制模块之间实时地交换信息。

目前谈到的现代测控技术，主要是表现在测量与控制过程中均要采用计算机技术，利用计算机的强大计算能力、信息存储能力以及通信能力来达到现代技术应用的目的，从而实现信息共享、数据通用、控制准确及系统稳定的要求。如图 1-5 中的控制器就可以由计算机来担任，此时的控制器就称为数字控制器，也就是大家常说的数字控制。

1.1.4 测控系统微机化的重要意义

传统的测控系统主要由常规电子线路与仪表组成，存在功能单一、测控精度与自动化程度较低、难以实现复杂控制规律等缺点。随着计算机技术的迅速发展，使得传统的测控系统发生了根本性变革，即采用微型计算机作为测控系统的主体和核心，代替传统测控系统的常规电子线路，从而成为新一代的计算机测控系统。

计算机技术的引入，使得测控系统具有以下新特点和新功能：

- 1) 自动调零功能：可大大降低因测控系统漂移变化造成的误差。
- 2) 量程自动切换功能：可根据测量值和控制值的大小改变测量范围和控制范围，在保证测量和控制范围的同时提高分辨率。
- 3) 多点快速测控功能：可对多种不同参数进行快速测量和控制。
- 4) 数字滤波功能：可抑制各种干扰和脉冲信号。
- 5) 自动修正误差功能：许多传感器和控制器的特性是非线性的，且受环境参数变化的影响比较严重，从而带来误差。采用计算机技术，可以依靠软件进行在线或离线修正。
- 6) 数据处理功能：利用计算机技术可以实现传统仪器无法实现的各种复杂的处理和运算功能，如统计分析、检索排序、函数变换、差值近似和频谱分析等。
- 7) 复杂控制规律：利用计算机技术不仅可以实现经典的 PID 控制，还可以实现各种复杂的控制规律，如自适应控制、模糊控制等。
- 8) 多媒体功能：利用计算机的多媒体技术，可以使仪器具有声光和语音等功能，增强

测控系统的个性或特色。

9) 通信或网络功能：利用计算机的数据通信功能，可以大大增强测控系统的外部接口功能和数据传输功能，并进一步构成测控网络，这也是计算机测控系统的发展方向。

10) 自诊断功能：采用计算机技术后，可对测控系统进行监测，一旦发现故障则立即报警，并可显示故障部位或可能的故障原因，对排除故障的方法进行提示。

可见，将微型计算机技术引入测控系统中，不仅可以解决传统测控系统不能解决的问题，而且还能简化电路，增加或增强功能，提高测控准确度和可靠性，显著增强测控系统的自动化、智能化程度，缩短系统研制周期，降低成本，使得升级换代更加容易。可以说，没有微处理器的仪器不能称为仪器，没有微机的测控系统不能称其为现代工业测控系统。

1.2 计算机测控系统的分类

从不同的角度可以对计算机测控系统进行不同的分类。按照系统应用领域可分为专用计算机测控系统和通用计算机测控系统；按照系统完成的功能可分为数据采集系统、直接数字控制系统、计算机监督控制系统、集散控制系统以及现场总线控制系统；按照系统的控制规律可分为程序和顺序控制系统、常规控制系统（PID 控制系统）、最小拍控制系统、复杂规律控制系统以及智能控制系统；按照系统的控制方式可分为开环控制系统和闭环控制系统；按照系统组成结构形式或设备类型可分为仪表调节系统、PLC 控制系统以及工业微机控制系统。尽管分类方法不同，但各分类系统中存在着一定的交叉和关联。下面介绍在工业领域中应用较为广泛的几种计算机测控系统。

1.2.1 数据采集系统

计算机数据采集系统（Computer Data Acquisition System，DAS）又称为计算机监测系统（Computer Monitor System），其结构图如图 1-6 所示。

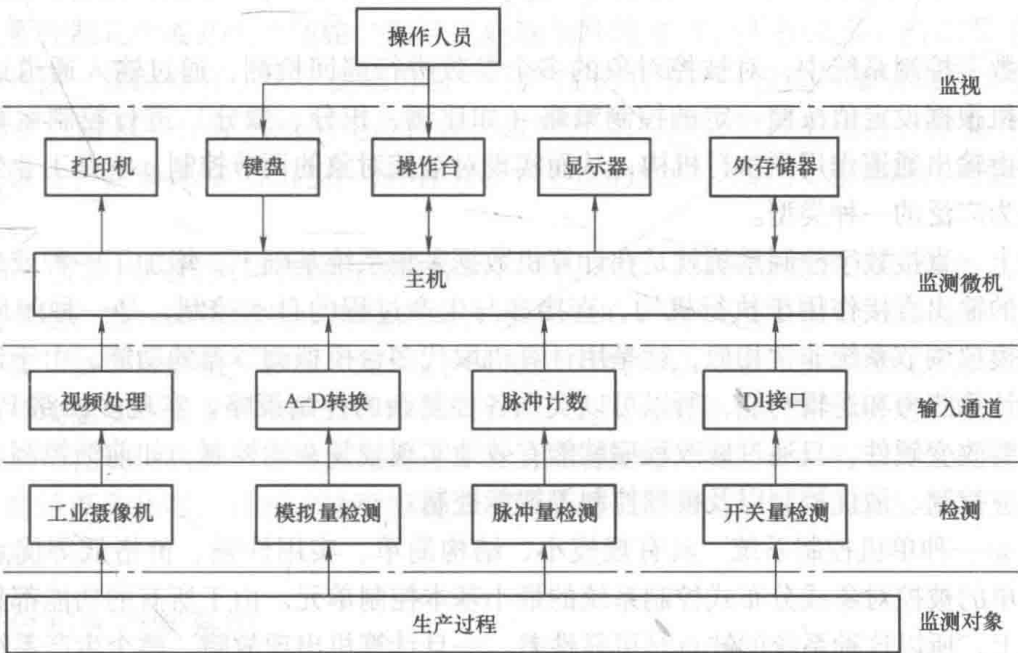


图 1-6 数据采集系统结构图

数据采集系统中，定时采集生产过程参数，经数据输入通道送入计算机中，由计算机对现场数据进行分析处理后，根据一定的控制规律或管理方法进行计算，再通过操作台、显示器或打印机输出操作指导信息供操作人员参考。这是计算机应用于工业生产过程最早、最简单的一类系统。

数据采集系统只对生产过程或被控对象的大量数据进行巡回检测、处理、分析以及记录，为操作人员的分析和判断提供信息的显示与报告，其输出只对有关的外部设备（以下简称外设）和人机接口进行作用，不直接作用于执行机构，不直接影响生产过程的进行。可以说，它仅对生产过程进行监视，不进行自动控制，是一种开环控制系统。数据采集系统的优点是简单、可靠，缺点是靠人工操作进行生产过程控制，操作速度难以提高。

利用数据采集系统可以获得大量统计数据，有利于建立比较接近实际的被控对象数学模型或控制规律。因此，特别适合于那些尚未弄清控制规律或正在建立被控对象数学模型的场合。

1.2.2 直接数字控制系统

直接数字控制系统（Direct Digital Control System, DDC），其结构如图 1-7 所示。

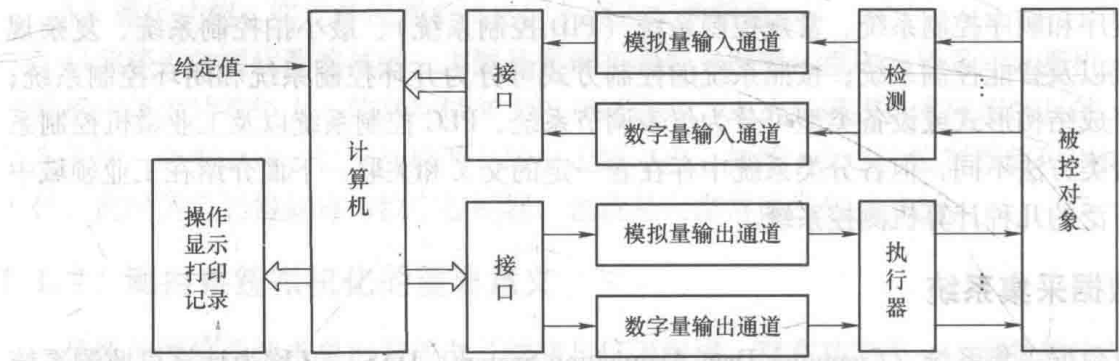


图 1-7 直接数字控制系统结构图

直接数字控制系统中，对被控对象的多个参数进行巡回检测，通过输入通道送入计算机，计算机根据设定值按照一定的控制策略（如比例、积分、微分）进行控制运算获得控制量，再由输出通道作用到执行机构，从而实现对被控对象的调节控制。它是工业生产过程中应用最为广泛的一种类型。

实际上，直接数字控制系统就是在计算机数据采集系统基础上，增加了一种或多种控制策略。它的输出直接作用于执行机构，直接参与生产过程的自动控制，是一种闭环控制系统。它与模拟调节系统非常相似，就是用计算机取代多台模拟调节器的功能。由于计算机具有很强的计算能力和逻辑功能，所以可以实现各种复杂的控制策略，实现多回路 PID 控制，而且不需要改变硬件，只通过修改程序就能有效地实现较复杂的控制，如前馈控制、串级控制、自适应控制、最优控制以及模糊控制等智能控制。

DDC 是一种单机控制系统，具有规模小、结构简单、实用性强、价格低等优点，适合于比较简单的被控对象或分布式控制系统的最小基本控制单元。由于所有的功能都集中在一台计算机上，所以这种系统的缺点是可靠性差。一旦计算机出现故障，整个生产系统就会面临瘫痪的危险。

1.2.3 监督控制系统

计算机监督控制系统 (Supervisory Computer Control System, SCC), 其结构图如图 1-8 所示。

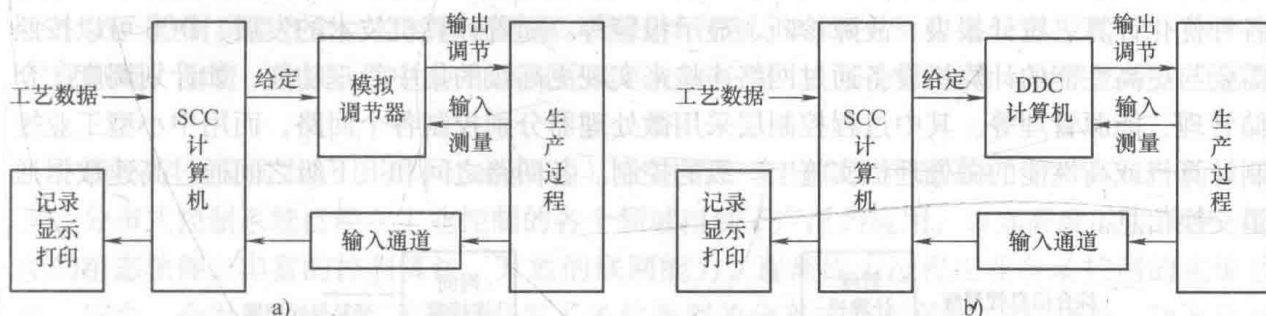


图 1-8 监督控制系统结构图

在 DDC 中, 给定值是预先设定的, 不能根据生产过程工艺信息的变化进行及时修正, 因而 DDC 不能使生产过程处于最优工作状态。SCC 根据原始的生产工业数据和现场采集到的生产工况信息, 一方面按照描述被控生产过程的数学模型和某种最优目标函数, 计算出被控过程的最优给定值, 输出给下一级的 DDC 计算机或模拟调节器; 另一方面对生产状况进行分析, 做出故障诊断和预报。它的输出不直接作用于执行机构, 而是给出下一级的最优给定值, 由它们去控制执行机构。

SCC 采用两级控制方式。当下一级采用模拟调节器时, SCC 计算机对各物理量进行巡回检测, 并按一定的数学模型对生产过程进行分析计算后, 得出控制对象各参数最优的给定值并送调节器, 使工况保持在最优状态。

当下一级采用 DDC 时, DDC 计算机称为下位机, 完成前面所述的直接数字控制功能。SCC 计算机称为上位机, 完成高一级的最优化分析与计算, 给出最优给定值, 送到 DDC 计算机执行过程控制。这里, DDC 计算机与生产过程直接连接, 完成控制器的任务, 一台计算机往往要控制几个或几十个回路, 而且工业现场环境恶劣, 干扰众多, 所以要求 DDC 计算机可靠性高、实时性好、抗干扰能力强, 并能独立工作。一般选用微型机和工控机作为 DDC 计算机。而 SCC 计算机承担先进控制、过程优化与部分管理的任务, 信息存储量大, 计算任务繁重, 要求有较大的内存与外存和较为丰富的软件, 因此一般选用高档微型机或小型计算机。

当 DDC 计算机或模拟调节器出现故障时, 可由 SCC 计算机完成 DDC 计算机或模拟调节器的控制功能; 当 SCC 计算机出现故障时, 可由 DDC 计算机或模拟调节器独立完成操作。这显然提高了整个系统的可靠性。此外, SCC 在计算时可以考虑许多常规调节器不能考虑的因素, 如环境温度和湿度对生产过程的影响; 可以进行过程操作的在线优化, 始终如一地使生产过程运行在最优状态; 可以实现先进复杂的控制策略, 满足产品的高质量控制要求; 可以进行故障诊断和预报。目前, 这种控制方式已经越来越多地被应用在较复杂的工业过程及设备的控制中。

1.2.4 分布式控制系统

分布式控制系统 (Distributed Control System, DCS), 又称为分散式控制系统或集散控制

系统，其结构图如图 1-9 所示。

分布式控制系统一般分三层：过程控制层、生产监控层和集中管理层。处于底层的过程控制层一般由分散的现场控制站、数据采集站等就地实现数据采集和控制，并通过数据通信网络传送到生产监控层计算机。生产监控层对来自过程控制层的数据进行集中操作管理，如各种优化计算、统计报表、故障诊断、显示报警等。随着计算机技术的发展，DCS 可以按照需要与更高性能的计算机设备通过网络连接来实现更高级的集中管理功能，如计划调度、仓储管理、能源管理等。其中过程控制层采用微处理器分别控制各个回路，而用中小型工业控制计算机或高性能的微处理机实施上一级的控制。各回路之间和上下级之间通过高速数据通道交换信息。

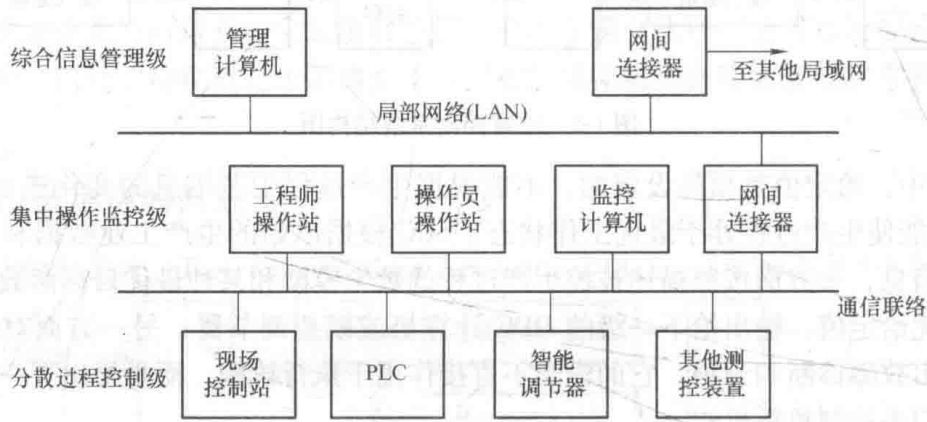


图 1-9 分布式控制系统结构图

在分布式控制系统中，按地区把微处理器安装在测量装置与控制执行机构附近，将控制功能尽可能分散，管理功能相对集中。其基本思想是集中操作管理，分散控制。这种分散化的控制方式能改善控制的可靠性，不会由于计算机的故障而使整个系统失去控制。当管理级发生故障时，过程控制级（控制回路）仍具有独立控制能力，个别控制回路发生故障时也不致影响全局。与计算机多级控制系统相比，分布式控制系统在结构上更加灵活、布局更为合理和成本更低。

分布式控制系统是在计算机监督控制系统、直接数字控制系统和计算机多级控制系统的基础上发展起来的，是生产过程的一种比较完善的控制与管理系统。具有以下特点：

- (1) 高可靠性 由于 DCS 将系统控制功能分散在各台计算机上实现，系统结构采用容错设计，因此某一计算机出现的故障不会导致系统其他功能的丧失。此外，由于系统中各台计算机所承担的任务比较单一，可以针对需要实现的功能采用具有特定结构和软件的专用计算机，从而使系统中每台计算机的可靠性也得到提高。
- (2) 开放性 DCS 采用开放式、标准化、模块化和系列化设计，系统中各台计算机采用局域网方式通信，实现信息传输。当需要改变或扩充系统功能时，可将新增计算机方便地连入系统通信网络或从网络中卸下，几乎不影响系统其他计算机的工作。
- (3) 灵活性 通过组态软件根据不同的流程应用对象进行软硬件组态，即确定测量与控制信号及相互间连接关系、从控制算法库选择适用的控制规律以及从图形库调用基本图形组成所需的各种监控和报警画面，从而方便地构成所需的控制系统。
- (4) 易于维护 功能单一的小型或微型专用计算机，具有维护简单、方便的特点，当

某一局部或某个计算机出现故障时，可以在不影响整个系统运行的情况下在线更换，迅速排除故障。

(5) 协调性 各工作站之间通过通信网络传送各种数据，整个系统信息共享，协调工作，以完成控制系统的总体功能和优化处理。

(6) 控制功能齐全 控制算法丰富，集连续控制、顺序控制和批处理控制于一体，可实现串级、前馈、解耦、自适应和预测控制等先进控制，并可方便地加入所需的特殊控制算法。

1975年，美国霍尼韦尔（HoneyWell）公司第一套分布式控制系统 TDCS-2000 问世以来，分布式控制系统已经在工业控制的各个领域得到了广泛的应用，以其高度的可靠性、方便的组态软件、丰富的控制算法、开放的联网能力，逐渐成为过程工业自动控制的主流系统。迄今，全世界数百家厂商已经开发了各种类型的分布式控制系统 1500 余种，DCS 以其先进、可靠、灵活和操控简便以及合理的价格而得到广大工业用户的青睐，广泛应用于冶金、电力、化工、石油和造纸等工业领域。

1.2.5 现场总线控制系统

现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）是以现场总线为基础的，开放式、数字化、多点通信的网络化控制系统。FCS 系统通常由三个部分组成：①现场智能仪表、控制器；②现场总线线路；③监控、组态计算机。其中，现场智能仪表、控制器、计算机等都通过现场总线网卡及通信协议软件连接到网上。因此，现场总线网卡及通信协议软件是 FCS 的基础和神经中枢。与此同时，组态技术包含有系统组态、数据库组态及控制算法组态，生成的参数及算法不仅可以在控制器中运行，还可以在远程 I/O 或智能设备上运行。实际上，FCS 就是以现场总线技术为核心，以基于现场总线的智能 I/O 或智能传感器、智能仪表为控制主体，以计算机为监控指挥中心的系统编程、组态、维护、监控等功能为一体的工作平台。

FCS 是一个开放式的互连网络，既可以与同层网络互联，也可以与不同层的网络互联。在现场设备中，以微处理器为核心的现场智能设备可方便地进行设备互联、互操作，其结构图如图 1-10 所示。

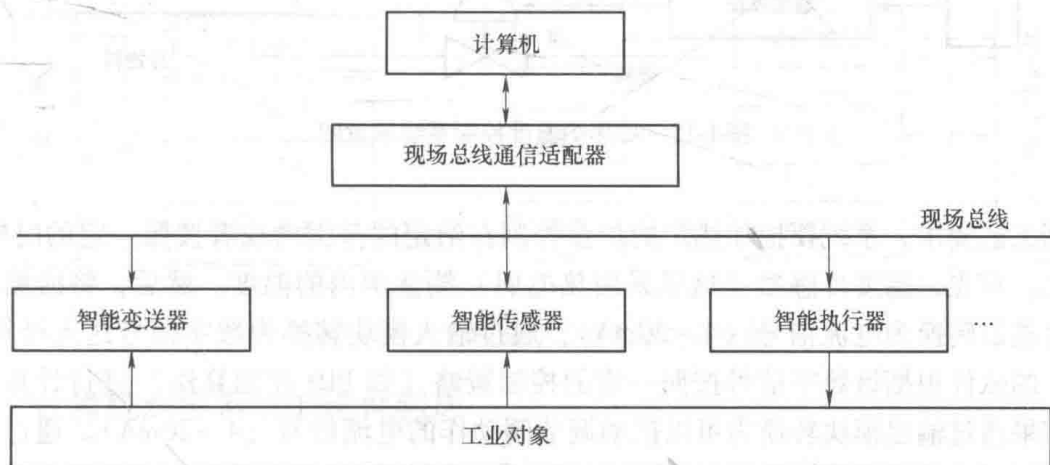


图 1-10 现场总线控制系统结构图